

大脳視覚野における透明面知覚の計算論的研究

渡部 修 [室蘭工業大学工学部/助手]

背景・目的

窓ガラス越しに屋外のビルを観察したとき、我々は視野上の各点で、ガラス面とビルの壁面という、二つの奥行を知覚することができる。しかし、二つの表面情報が重畳された画像から、いかにして各表面の情報を分離するか、また多価の情報をどのように符号化しているのかという視覚情報処理の計算理論は、いまだ確立されていない。本研究では、脳の視覚野で行われている多重表面の検出・符号化のメカニズムを解明する。この成果は、脳機能の解明に寄与するのみならず、ガラス面などを含む実画像処理への応用の道を開くことが期待できる。

内容・方法

本研究では、ニューロンの集団（ポピュレーション）で視覚情報を符号化する、ポピュレーション符号化原理を用いて、多重表面の検出・表現のための数理モデルを構築する。具体的な方法は、以下のように大きく二つに分けることができる。(1)まず、多重表面に対する、個々のモデルニューロン（エネルギーモデル）の応答特性を詳細に解析し、符号化能力や限界などの性質を明らかにする。次に、この解析結果に基づいて、多重表面情報を復号化するための計算理論を検討する。(2)この計算理論を実現するニューラルネットワークを構築し、数値シミュレーションによって能力を検証する。特に、応用上重要になる、ノイズに対するロバスト性を調査し、ノイズ除去の手法を検討する。また、構築したアルゴリズムに、実際に心理実験などで用いられている画像データを入力することによって、人間の知覚特性の実験結果との比較・検討を行い、脳のモデルとしての妥当性を検証する。

結果・成果

まず、ポピュレーションを構成する個々のエネルギーモデルについて、透明面に対する応答を解析した。特に、ニューロン応答の非線形性によって生じる、表面間干渉の性質を調べた。表面間干渉は偽の表面情報を持っているため、正しい表面検出を妨げることになる。本研究では、表面間干渉が、表面パターン間の位相差に依存して生じることを明らかにした。さらに、一般の画像では、空間的プーリングによって干渉を除去できることを明らかにした。干渉を除去できれば、透明面に対する応答は各表面を単独で呈示したときの応答の和になるため、多重表面の検出が可能になる。

次に、エネルギーモデルのポピュレーションとしての性質を調

べ、多重表面の復号化法を提案した。両眼視モジュールについては、単一表面に対する応答が余弦関数状になることを明らかにした。この応答特性を考慮して、complex estimatorを用いた多重表面推定手法を提案した。運動視モジュールについては、ポピュレーション応答が入力運動ベクトルのHough変換状になることを明らかにした。従って、単純な逆Hough変換によって多重表面の復号化が可能になる。また、両眼視差と運動情報の双方に選択性を持つ時空間エネルギーモデルについての応答も解析した。重なり合った表面の視差と運動の、双方の差が大きくなるほど、干渉の影響を受けにくく、多重表面情報の分離も容易になることを明らかにした。これは、人間の知覚特性ともよく一致する。

さらに、この多重表面検出の理論を実現するニューラルネットワークを構築し、透明面を含む画像を入力することにより数値シミュレーションを行なった。特に、画像にノイズが含まれる状況下での透明面の検出精度を検証した。この結果、ステレオ画像から透明面を検出する場合には、ノイズの影響を強く受けることが明らかになった。この結果に基づいて、異なる空間周波数選択性を持つ複数のポピュレーションを独立・並列に用意し、推定視差の整合性を取ることによって、ノイズ成分だけを選択的に除去できるアルゴリズムを構築した。また、このノイズ除去アルゴリズムによって、両眼輝度のずれの影響も除去できることを明らかにした。

また、従来から知られていた透明錯視（LPD刺激）を用いた数値シミュレーションを行い、本アルゴリズムが、人間と同様の誤った表面検出を行なうことを確認した。さらに、本モデルから予測される透明錯視を実際に作成し、これに対する人間の知覚特性を視覚心理実験によって測定した。この結果、モデルの検出結果は、人間の視覚特性とよく一致することが明らかになった。この結果は、脳のモデルとしても妥当性を支持するものといえる。

今後の展望

本研究の成果は、脳科学のみならず、脳に学ぶ情報処理原理の工学的な応用を行っている諸分野、特に画像処理やパターン認識といった分野に寄与することが期待できる。特に、画像処理分野への応用については、例えば、ガラス越しに撮像した画像の分析や、眼鏡をかけた人物の顔認識など、透明面を含む一般的な自然画像処理の研究開発へ寄与することが期待できる。今後は実画像における透明面検出やノイズ除去精度を検証し、モデルの精緻化を行なう必要がある。さらに、応用を考える際には、計算時間の短縮を図る必要がある。